

中国汶川大地震の震源断層

長大断層の破壊と地殻変動の事例

防災システム研究センター はお 郝 憲生



はじめに

内陸地震として最大級規模の中国四川省汶川（Wenchuan）地震（Mw7.9, 2008年5月12日）は、長さ約500kmの龍門山断層帯で発生し、広大な地域に甚大な被害をもたらしました。この地震に伴う震源断層の動きを明らかにするために、我々は、数回の現地調査を行いました。

現地調査では、最大縦ずれ6mに達する映秀—北川断層（YX-BC）と、2mに達する灌県—安県断層（GX-AX）において、10ヶ所以上の大きな地表断層を確認しましたが、断層の全容には至れませんでした。このため現地調査に加えて、陸域観測技術衛星「だいち」のPALSARデータを用いて、震源断層の形状と断層面上のすべり分布を逆解析で推定しました。その結果、今回

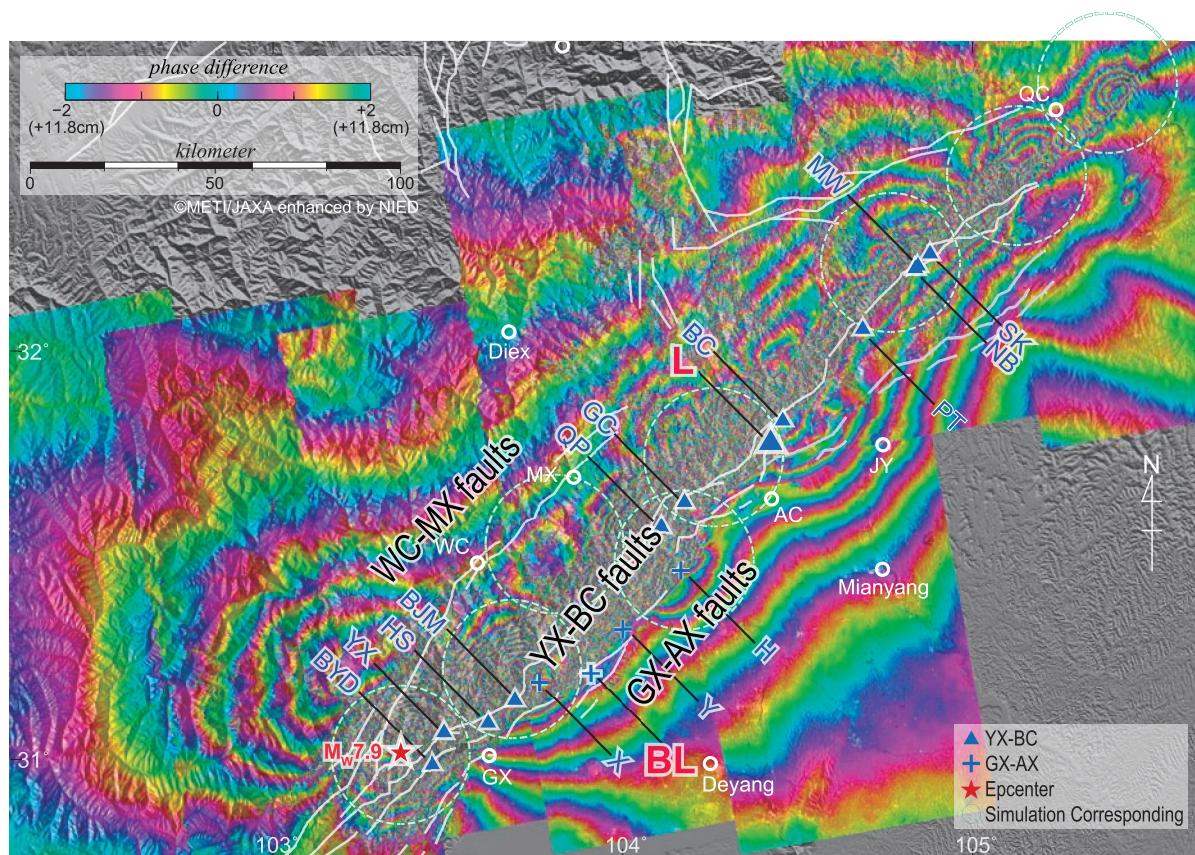


図1 汶川大地震に伴う地表地震断層（▲+）と地殻変動（背景の縞模様）。活断層（白線）。確認された地表地震断層は：YX: 映秀、HS: 後深溝（写真1a）、BJM: 八角廟、QP: 清平、GC: 高川（写真1b）、L: 擂鼓鎮（写真1c）、BC: 北川およびH: 漢旺、Y: 蓋華（写真2a）、BL: 白鹿（写真2b）とX: 小魚洞である。なお、本解析で用いたデータは、JAXAが進める防災利用実証実験に基づいて配布されたものであり、元データの所有権はMETI及びJAXAにある。

の地震では、YX-BC では、長さ約290km、GX-AX では約70km の領域が破壊したことが分かりました(図1)。

現地での断層調査

チベット高原の東縁の深い山間部にある YX-BC に沿って約140km にわたって調査を行いました。震央から北東の約26km に位置する後深溝(HS)では、6mの縦ずれ(写真1a)と5mの横ずれという最大の地表断層変位を確認しました。震央から約100kmの高川(GC)では、4.9m/2mの縦/右横ずれが民家と道路の間に現れ(写真1b)、約128kmの擂鼓(L)では、畑が約4.6m隆起しました(写真1c)。チベッ

ト高原と東側の成都平野に隣接する GX-AX に沿って、震央から約69kmの蓋華(Y)では2.3m(写真2a)、約57kmの白鹿学校の庭(BL)では、2m以上の縦ずれ断層崖(写真2b)が確認できました。本調査と他の研究者による調査の結果を合わせると、YX-BCでは映秀から青川(QC)の間、GX-AXでは白鹿から漢旺(H)の間に、約11-13km離れてほぼ平行する2つの断層が地表に出現したことが分かりました。

衛星から見る地殻変動

震源断層の全貌を調べるために、「だいち」により観測された地震前後の7つのペアのPALSARデータを用い、InSAR解析による地殻変動を調査しました(図1)。主要断層 YX-BC に沿って



写真1 映秀—北川断層帯 YX-BC に沿う典型的な逆断層。(a) 後深溝(HS)では、最大6mの縦ずれが民家と庭に現れた。(b) 高川(GC)では、4.9mの縦ずれが民家と道路に現れた。(c) 擂鼓鎮(L)では、西側の畑が約4.6m隆起した。場所は図1に示す。



写真2 龍門山断層帯の灌県—安県断層帯GX-AXに沿う逆断層。(a) 菱華(Y)にあるトウモロコシ畑に現れた2mの縦ずれ断層崖。後ろの二人の間には古い断層崖が示唆される。(b) 白鹿学校(BL)の庭に現れた2m以上の縦ずれ断層崖。

長さ約290km、幅が南西側に約35km、北東側に約10kmの灰色帯(細かい縞模様を含め)が出現しました。これは、地震前後の地殻データの相関が取れなく、いわゆる解析の検出限界を超えた大地殻変動帯が発生した領域と考えられます。ほぼすべての大きな地表断層、地すべりなどの激しい地殻変動が、この変動帯の中で発生しました。この大地殻変動帯の両側で、約100kmの幅を持つ地域において地殻変動が起きたことが明らかになりました(図1)。

震源断層と地殻変動の全貌

四川大地震時により発生した地表断層と地殻変動の関係を説明するために、InSAR解析より

得られた地殻変動と現地調査で得られた地表断層位置情報を基に、2枚の断層面 YX-BC (赤線: A-A'-A'') と GX-AX (青線: B-B') により、今回の地震の震源断層をモデル化しました(図2)。この地表面上13km離れた2枚断層面は、それぞれ傾斜角50度と37度で北西に傾斜し、深部20kmでつながっています。

衛星で得られた1,885,340点の変位情報を1,600個に平均化し、その変位量を生み出す断層すべり分布を、半無限弾性体の食い違い理論による逆解析で推定しました。断層面内に最大12mの不均質な断層すべり分布が、震源地に近い映秀側で主に逆断層的に動き、北川の北東側では右ずれと逆断層的な動きが見られました。計算された地表のずれ量は、現地調査結果とほぼ一致していることから、モデルの妥当性を確認できました。さらに、断層すべりモデルによる地表変位のシミュレーション結果は、観測されたものとよく似ていること(緑色大円)が分かりました。

推定断層モデルによれば、今回の地震断層破壊では、映秀—北川断層帯では約290km、灌県—安県断層帯では約70kmの領域が大きく滑ったこと、それをとり囲む広く地域に地殻変動が発生したことが分かりました(図2)。

今後の課題

汶川地震を起こした内陸最大級の長大断層の破壊事例は、極めて珍しいケースであり、様々な分野で興味深い科学的課題を与えてくれました。長大な断層の破壊による地震動の特性やその被害についての研究は、地震動予測・ハザード評価の高度化に繋がる重要な課題となっています。引き続き中国側の協力を得て、更に詳細なデータを取得して、研究を深めたいと考えています。

なお、本稿で紹介した研究成果はAGU（米国地球物理学連合）のGeophysical Research Letters(GRL)に掲載され、ダウンロード回数がトップ5に入り、AGUのJournal HighlightsとGRLのEditors' Highlightにも選ばれました。また、論文の衛星観測図（図1）と断層の図（写真1cと2b）が、GRLの表紙に選定され、WEB版と印刷版に掲載されました（www.bosai.go.jp/news/oshirase/h210625_01.html）。なお、本研究の実施にあたり、防災科研の藤原広行氏・小沢拓氏と株式会社構造計画研究所の司宏俊氏の協力を得たことを、記して感謝します。

参考文献

Hao, K. X., H. Si, H. Fujiwara, and T. Ozawa (2009), Coseismic surface- ruptures and crustal deformations of the 2008 Wenchuan earthquake / Mw/7.9, China, Geophys. Res. Lett., 36, L11303, doi:10.1029/2009GL037971.
 郝憲生・司宏俊・藤原広行・小澤拓 (2008). 2008年四川汶川大地震に伴う地表地震断層, 活断層研究第29号.
 Ken Xian-Sheng Hao, H. Si and H. Fujiwara(2008), A preliminary investigation of the coseismic surface-ruptures for Wenchuan earthquake of 12 May 2008, Sichuan, China, Proc. of the 14th World conference on earthquake engineering, Beijing, S31-007.

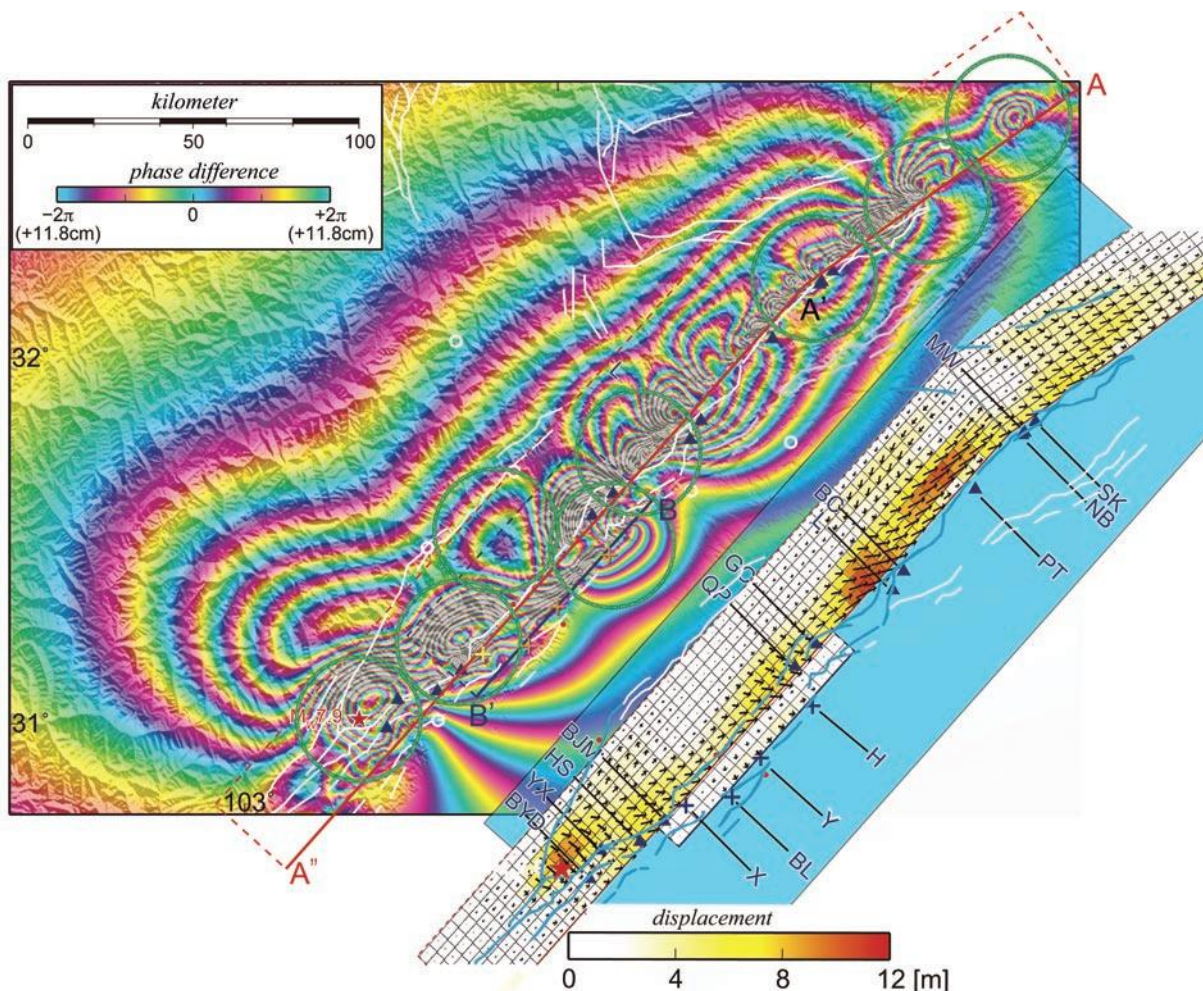


図2 断層近傍で測った地表断層情報を基に作成した二つの断層面をもつモデル。「だいち」から得られた変位情報に基づいた、断層すべりの逆解析結果（右下）：映秀 - 北川断層帯（A-A'-A''）に沿って、最大の地表変位は北川 - 擂鼓（BC-L）（4.5m）、高川 - 清平（GC-QP）（4m）、と八角廟 - 後深溝 - 映秀（BJM-HS-YX）（3.1m）になり、灌県 - 安県断層帯（B-B'）に沿って最大の地表変位は0.9-2.3mと、現地調査とほぼ整合する結果である。断層ずれの大きさ（色バー）、と方向（矢印）を示す。緑色の円で囲ったところが観測された地殻変動（図1）とシミュレーションした地殻変動（背景）が良く対応している。